Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Gli elementi della *concorrenza*: Processi, thread e spazi di indirizzamento

Alcune idee centrali sui Sistemi Operativi

- Alcune idee centrali sui sistemi operativi:
  - Meccanismi vs. politiche
  - Monoprogrammazione vs. multiprogrammazione
  - Multiprogrammazione vs. time sharing
  - Time sharing vs. elaborazione batch

- Tutte queste idee hanno a che fare con il concetto di processo e l'idea cardine della multiprogrammazione

Processi

- Processo: programma in esecuzione

- Un sistema multiprogrammato è costituito da un insieme di processi: processi utente (eseguono codice delle applicazioni utente), processi di sistema (eseguono codice del SO)
- Un processo è controllato da un programma e necessita di un processore per la sua esecuzione
- Può disporre di un processore dedicato o condividerne uno con altri
- E' caratterizzato da uno *stato*: in esecuzione, pronto, in attesa (principali)

Dai processi ai thread

- C’è stata una evoluzione storica nell’uso del termine *processo*, oggi affiancato da quello di *thread*
- Quali relazioni tra thread e processi?
- Tutte le caratteristiche precedenti si riferiscono sia ai processi che ai thread!

Concorrenza

- Elementi di base attivi: thread e processi
- Elementi di base passivi: spazi di indirizzamento

- Thread: *trama* di esecuzione
  - Ciclo indipendente di Fetch/Decode/Execute
  - Opera in uno spazio di indirizzamento

- Processi: qualcosa in più di un thread!
  - Uno o più thread *e* uno spazio di indirizzamento in cui essi operano

Monoprogrammazione e multiprogrammazione

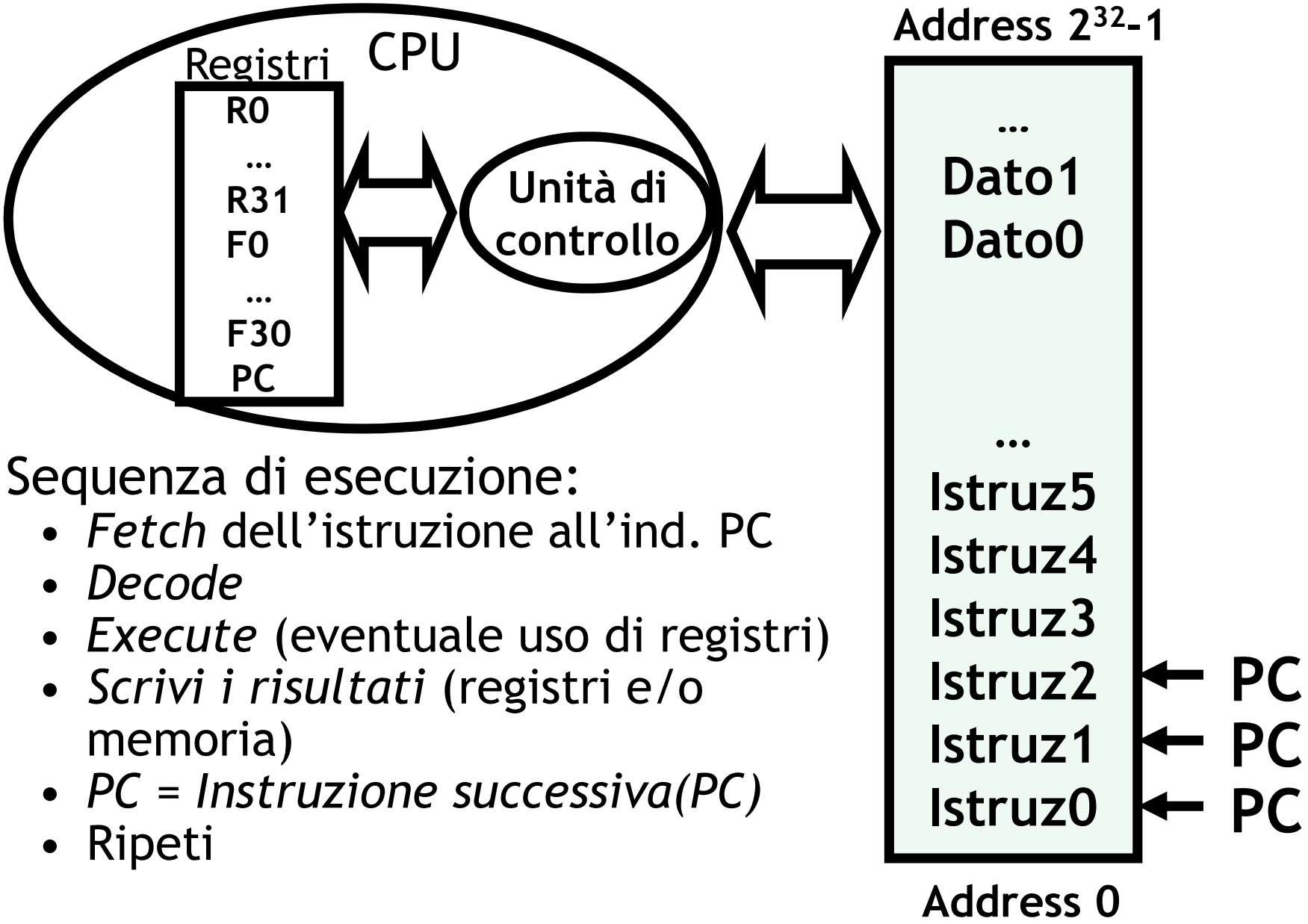
- Monoprogrammazione: *un solo thread in esecuzione in ciascun istante*
  - Es.: MS/DOS, i primi Macintosh, elaborazione Batch
  - Semplifica il compito del SO
  - Elimina la *concorrenza*
  - Plausibile, un tempo, per semplici elaboratori personali, ora incompatibile con i nostri stili di utilizzo

- Multiprogrammazione: *più di un thread in esecuzione*
  - Es.: Multics, UNIX/Linux, OS/2, Windows NT/2000/XP, Vista, Windows 7-11, Mac OS X, iOS, Android …
  - Talvolta chiamata anche “multitasking”
  - Determina una situazione di *concorrenza*

Multiprogrammazione e risorse

- Il problema di base della presenza di più thread in esecuzione riguarda le *risorse*:
  - L'hardware fornisce risorse limitate (CPU, memoria e dispositivi di I/O)
  - Le API di (multi)programmazione forniscono invece una visione di accesso esclusivo alla macchina
- Il SO deve coordinare tutte le attività:
  - Più utenti, interrupt di I/O, …
  - Come gestirle in modo corretto?
- Idea base: uso dell'astrazione *Macchina Virtuale*
  - Ogni thread esegue in una macchina virtuale dedicata
  - --> Scomposizione in problemi più semplici
  - Astrae la nozione di programma in esecuzione
  - Richiede il multiplexing delle macchine astratte

Esecuzione di un thread

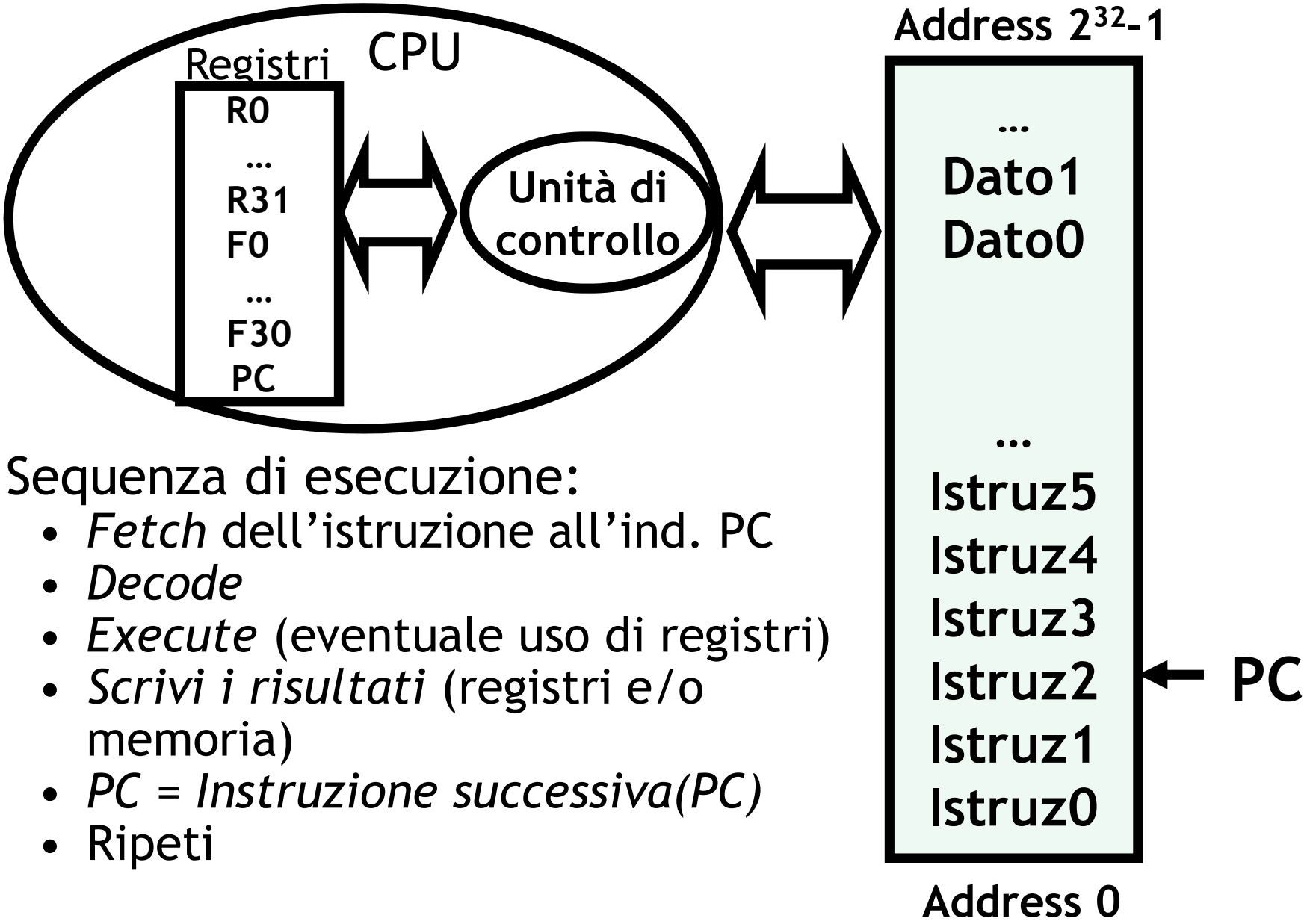


Sequenza di esecuzione:

- *Fetch* dell'istruzione all'ind. PC
- *Decode*
- *Execute* (eventuale uso di registri)
- *Scrivi i risultati* (registri e/o memoria)
- *PC = Istruzione successiva(PC)*
- Ripeti

Esecuzione di un thread

Come consentire l'esecuzione di un altro thread?



Sequenza di esecuzione:

- *Fetch* dell'istruzione all'ind. PC
- *Decode*
- *Execute* (eventuale uso di registri)
- *Scrivi i risultati* (registri e/o memoria)
- *PC = Istruzione successiva(PC)*
- Ripeti

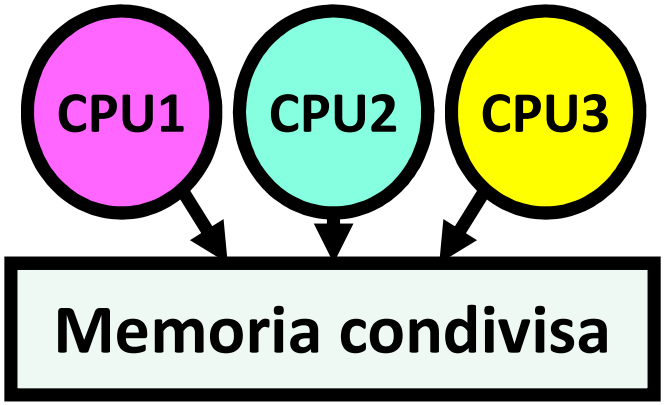
Esecuzione di più thread

- Thread: uno specifico e univoco contesto di esecuzione
  - Program Counter, registri, flag di esecuzione, stack, memoria
- Un thread è in esecuzione su un processore o core quando *risiede nei suoi registri*
- Il thread utilizza *tutti i registri* del processore e ha a disposizione *l'intero spazio* di indirizzamento
  - PC punta ad una istruzione del thread in memoria,
  - i registri ospitano valori del thread o puntanto a locazioni di memoria con variabili del thread,
  - SP punta allo stack del thread in memoria, etc.
- La multiprogrammazione, per definizione, è la *presenza in memoria principale di più thread!*
- Come risolvere questo conflitto?

Virtualizzazione della CPU

Obiettivo: virtualizzazione CPU

- Ogni thread esegue il ciclo di fetch-execute in una propria *CPU virtuale*
- Ogni CPU virtuale accede allo *spazio di memoria condiviso*

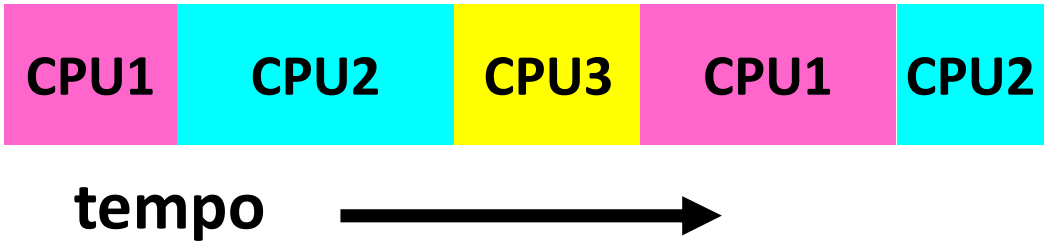


Problema:

- Come fornire a ciascun thread una CPU (virtuale) e altre risorse private ?

Soluzione:

- Realizzando l'illusione di processori multipli mediante multiplexing nel tempo



Virtualizzazione della CPU

- Ogni CPU virtuale richiede una struttura (*blocco di stato* all'interno del *descrittore* o PCB/TCB) per:
  - Program Counter (PC), Stack Pointer (SP), Registri
- Per commutare tra le CPU, il SO esegue:
  - Salvataggio di PC, SP, e registri nel descrittore corrente
  - Caricamento di PC, SP, e registri dal nuovo descrittore
- La commutazione è determinata da:
  - Timer, precedenze volontarie (yield), I/O, + altro
- La sola commutazione della CPU realizza una *semplice forma di multiprogrammazione* caratterizzata da:
  - *condivisione* della CPU *mediante commutazione* e TCB, *condivisione diretta* di tutte le altre risorse

Multiprogrammazione con risorse condivise

- Proprietà di questa tecnica di multiprogrammazione:
- Tutte le CPU virtuali *condividono* le altre risorse hw:
  - Dispositivi di I/O, Memoria
- Conseguenze della condivisione:
  - (1) Ogni thread può accedere ai dati degli altri thread
  - (2) I thread possono condividere le istruzioni
  - (1) e (2) utili per la condivisione efficiente, negative per la protezione
  - I thread potrebbero sovrascrivere funzioni del SO!
  - ➔ *multiprogrammazione senza protezione*
- Questo *modello non protetto* è utilizzato in:
  - Applicazioni embedded
  - Windows 3.1/Macintosh (commutazione solo con yield)
  - Windows 95/98/ME? (commutazione con yield e timer)

Multiprogrammazione con protezione dei thread

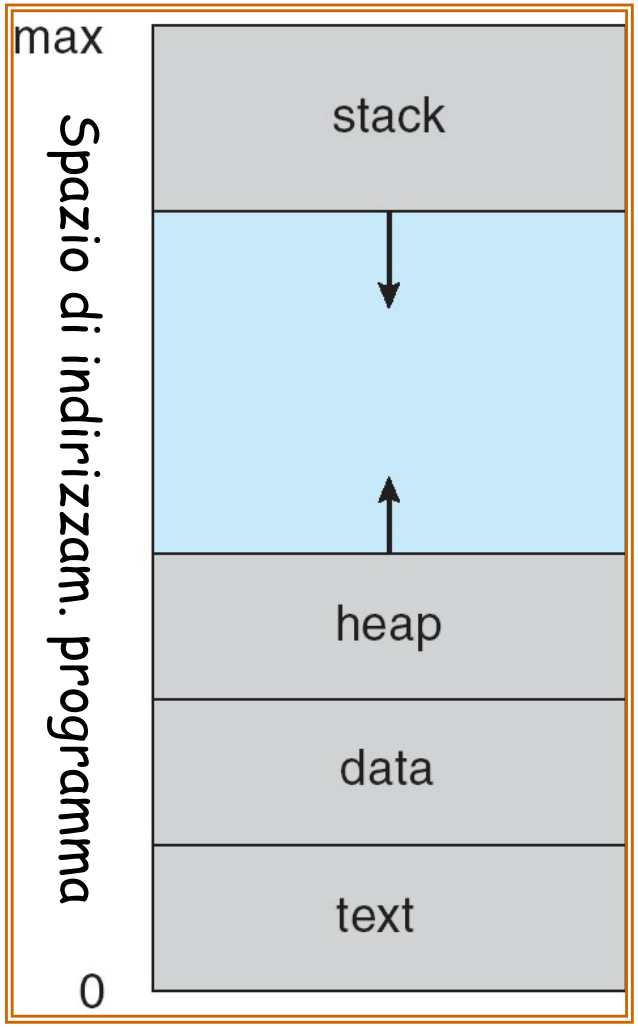
- In genere nei sistemi è indispensabile prevedere la protezione mutua tra i thread e del SO → *Multiprogrammazione con protezione*
- Richiede di inserire nel SO alcune caratteristiche:
  1. Protezione della memoria:
     - i thread non devono avere accesso a tutta la memoria
     - partizionamento della memoria, controllo dell'accesso
  2. Protezione dei dispositivi di I/O:
     - i thread non devono avere accesso a tutti i dispositivi
  3. Protezione del processore → Garanzia della commutazione tra i thread mediante *preemption*:
     - uso di timer
     - gestione del timer (ad es. per disabilitarlo) non consentita al codice dei thread utente

Processi

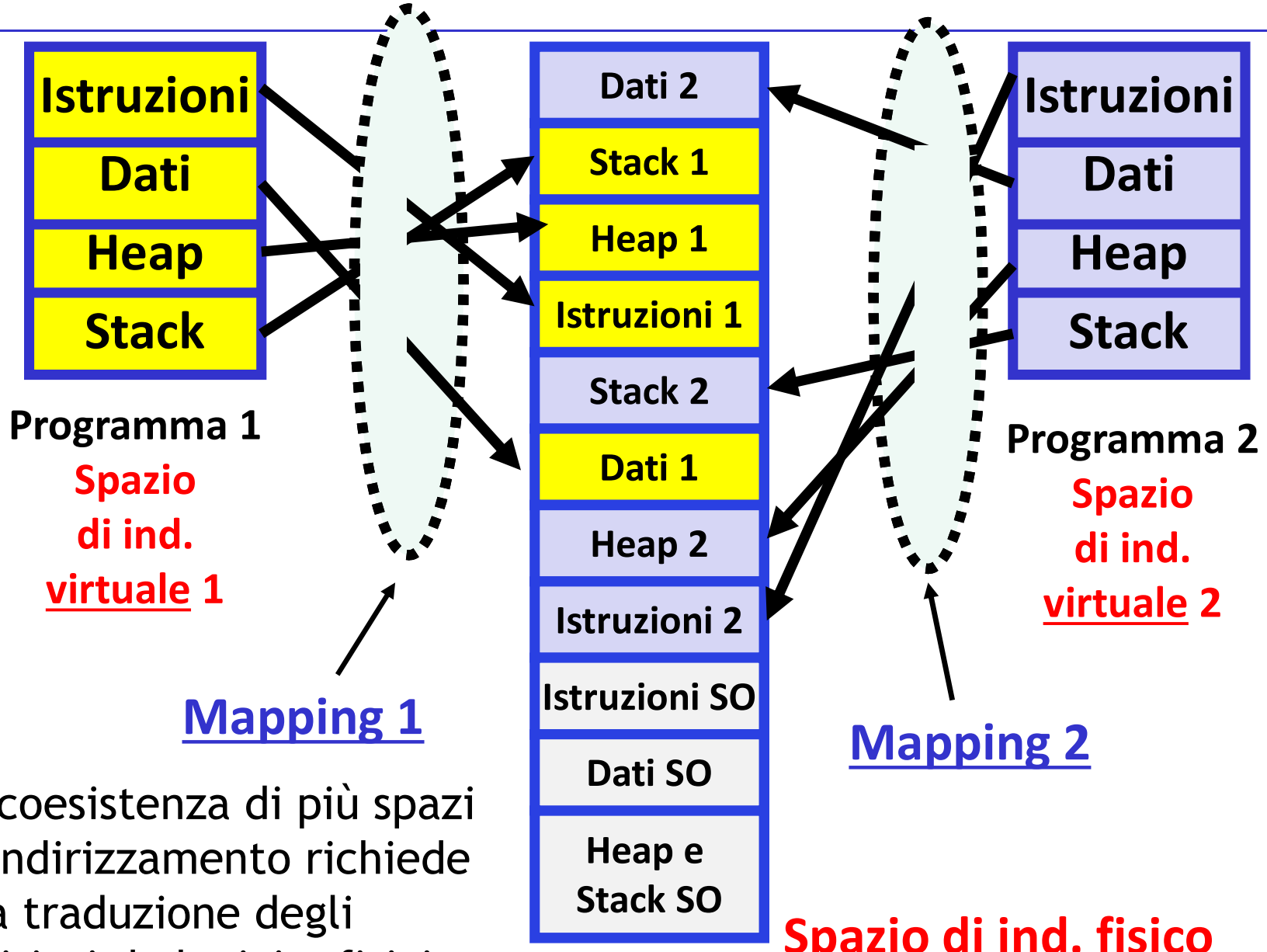
- Un *processo* definisce un ambiente di esecuzione vincolato e protetto
  - E' costituito da uno *spazio di indirizzamento* in cui operano *uno o più thread*
  - Possiede descrittori di file e accessi a risorse di I/O
  - Incapsula *uno o più thread* che *condividono le risorse del processo*
- Beneficio: si ottiene protezione reciproca dei processi e protezione del S.O.
- Compromesso tra protezione ed efficienza:
  - i processi garantiscono la protezione della memoria
  - i thread efficienza nell'elaborazione
- Un'*applicazione* consiste di uno o più processi

Lo spazio di indirizzamento di un programma

- *Address space* ⇒ insieme degli indirizzi accessibili + lo stato associato ad essi:
  - Per un processore a 32 bit: $2^{32} \approx 4$ miliardi di indirizzi
  - Spazio di indirizzamento logico
- Effettuando una lettura o scrittura ad un indirizzo si ottiene uno dei seguenti risultati:
  - Non accade nulla
  - Si comporta come memoria normale
  - Ignora i comandi di scrittura
  - Si determina un'operazione di I/O (→memory-mapped I/O)
  - Si genera un'eccezione (errore)



Realizzazione dello spazio di indirizzamento



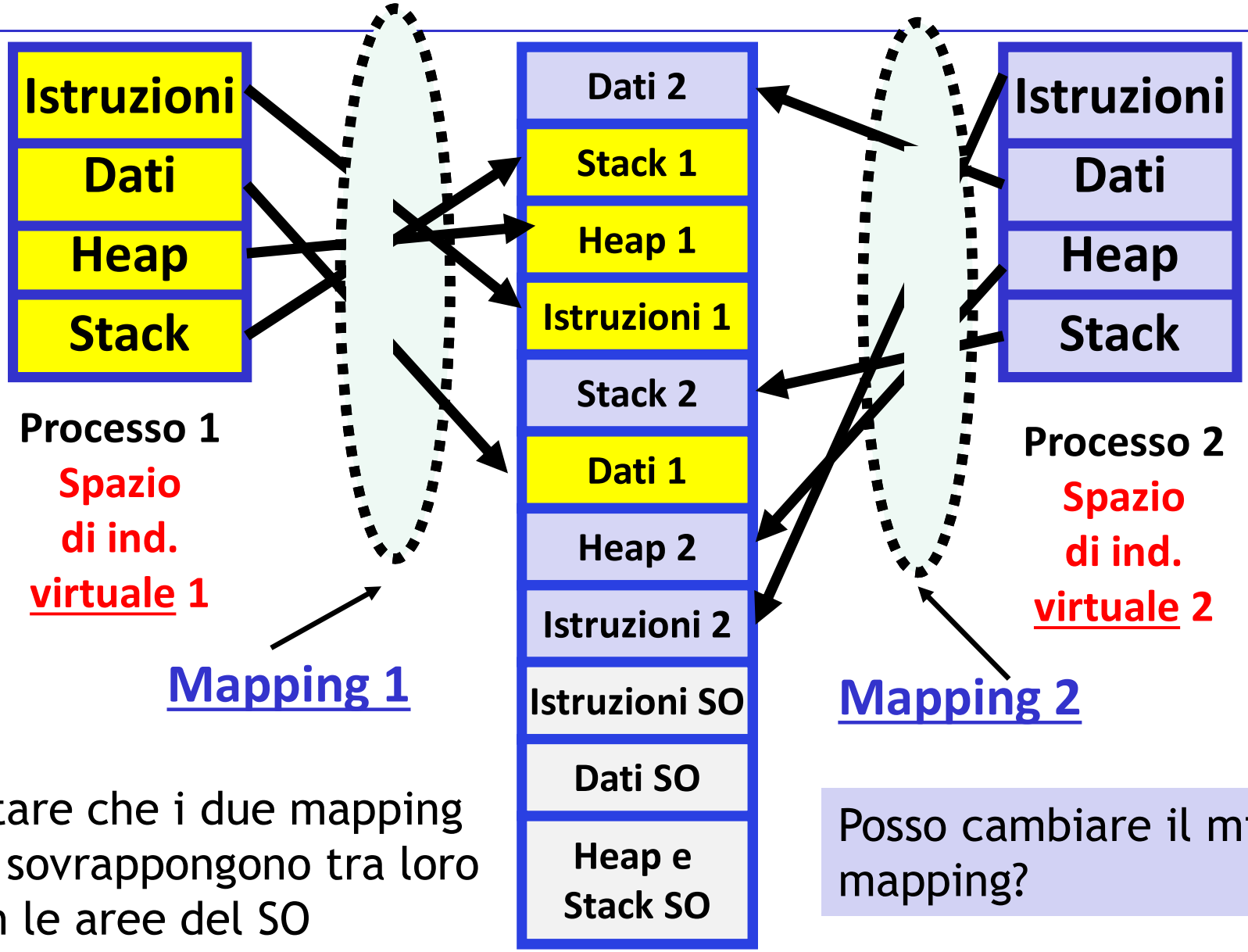
- La coesistenza di più spazi di indirizzamento richiede una traduzione degli indirizzi da logici a fisici

Cambio dello spazio di indirizzamento

- Il thread in esecuzione referenzia dati e istruzioni nel proprio spazio di indirizzamento logico
- Per fornire ai processi l'illusione di spazi di indirizzamento separati è necessario caricare *la nuova mappa* per la traduzione degli indirizzi da logici a fisici all'atto della commutazione dello spazio di indirizzamento
- → Commutazione di *processo*

- Quando parliamo di processi:
  - Per gli aspetti di *concorrenza*, si fa riferimento ai thread del un processo
  - Per gli aspetti di *protezione*, si fa riferimento allo spazio di indirizzamento del processo

Realizzazione dello spazio di indirizzamento



Da notare che i due mapping non si sovrappongono tra loro né con le aree del SO

Posso cambiare il mio mapping?

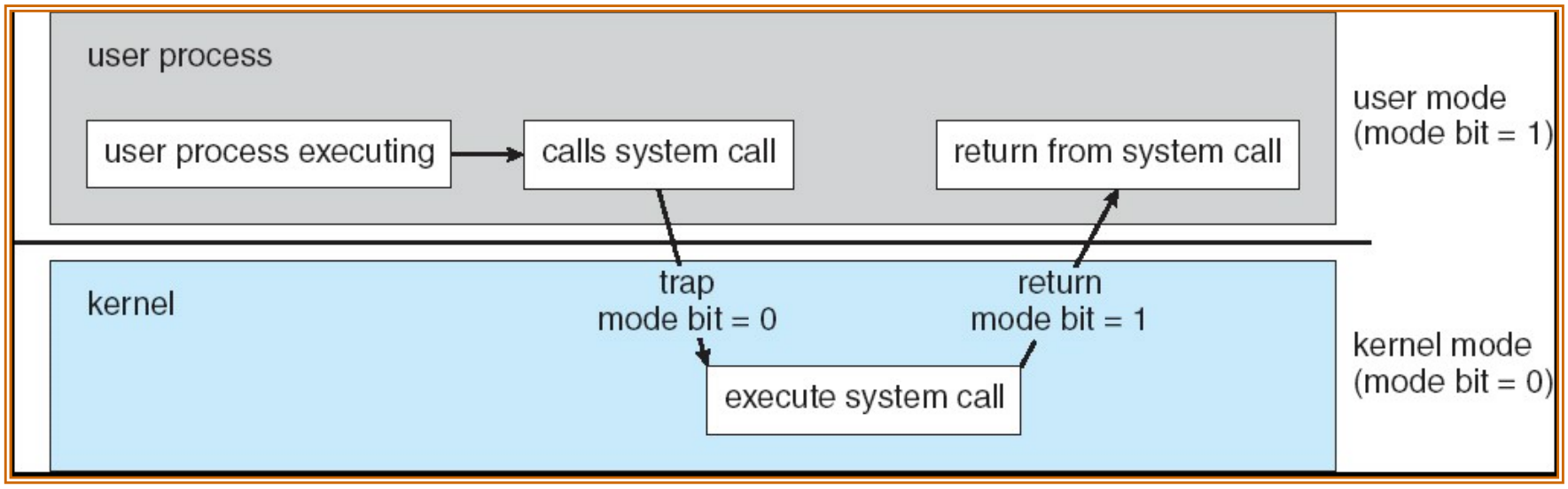
Protezione dei processi

- Per una piena protezione dei processi e del SO, è indispensabile che il processore fornisca almeno due *modi di funzionamento*:
  - modo *utente* (accesso non consentito ad I/O, timer, hardware, registri di memoria, istruzioni riservate)
  - modo *supervisore* o *kernel* (accesso completo ad I/O e hardware in generale, intero set di istruzioni, registri di memoria, etc.)

- La protezione viene realizzata restringendo gli accessi alle risorse private del processo:
  - Il *mapping della memoria* isola i processi tra loro
  - La presenza di *modalità di funzionamento* riservate del processore isola e protegge l'I/O e le altre risorse

Protezione: Modi di funzionamento

- L'hardware deve fornire almeno due modi di funzionamento: *kernel* (o *supervisor*) e *utente*
- Alcune istruzioni sono proibite in modo utente e generano un'eccezione (es. modifica tabella pagine)
- La transizione da modo utente a modo kernel avviene solo con system call, interruzioni, eccezioni

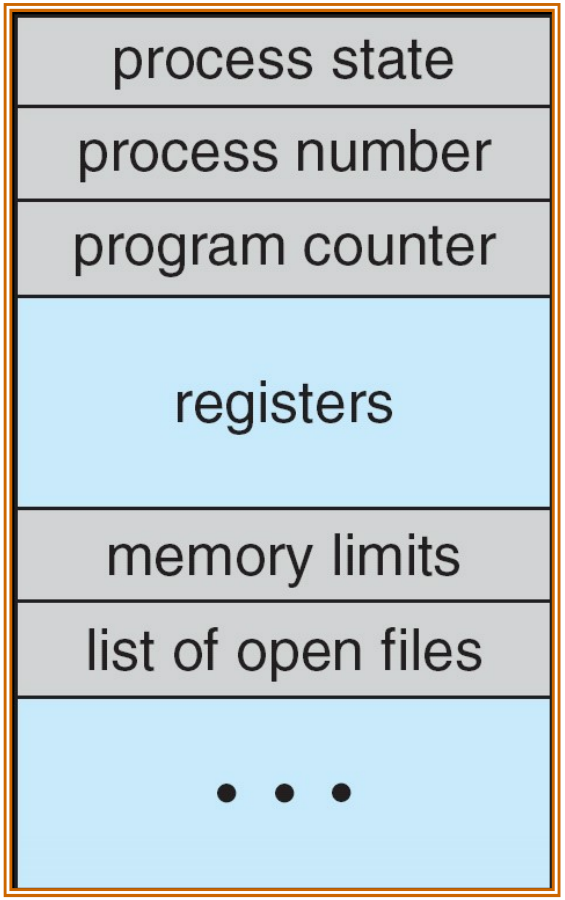


Il processo tradizionale in stile Unix

- E' l'astrazione utilizzata dal SO per rappresentare *ciò che serve per eseguire un programma*
- Un singolo flusso di esecuzione nel proprio spazio di indirizzamento
  - talvolta denominato processo *a grana grossa*
- Consiste di due parti:
  1. Un *unico flusso di esecuzione* sequenziale, a cui è associato anche lo stato di CPU e registri --> *un thread*
  2. Un insieme di *risorse protette*:
     - stato della memoria principale: contenuti dello spazio di indirizzamento,
     - stato dell'I/O: descrittori dei file
- Che tipo di multiprogrammazione viene resa possibile dai processi tradizionali UNIX? Quali implicazioni?

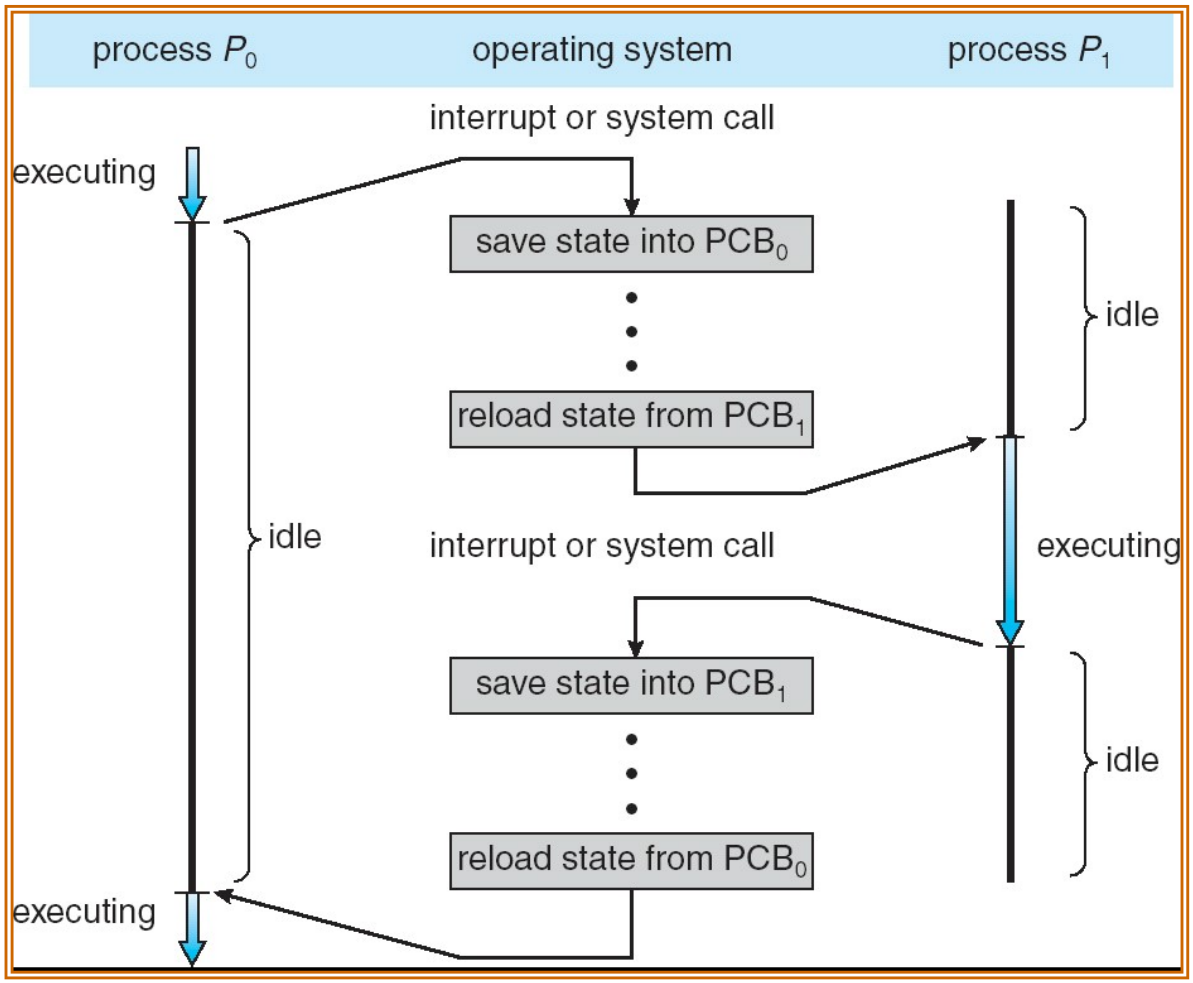
Per commutare tra i processi

- Lo stato del processo è mantenuto in un *descrittore* (o *PCB – Process Control Block*)
- Il tempo di CPU è ripartito tra diversi processi
- Le risorse sono protette attraverso un accesso controllato
  - *Mappa di memoria*: ogni processo ha uno spazio privato
  - *Modo di funzionamento* utente/supervisor: il multiplexing dell'I/O avviene attraverso le system call



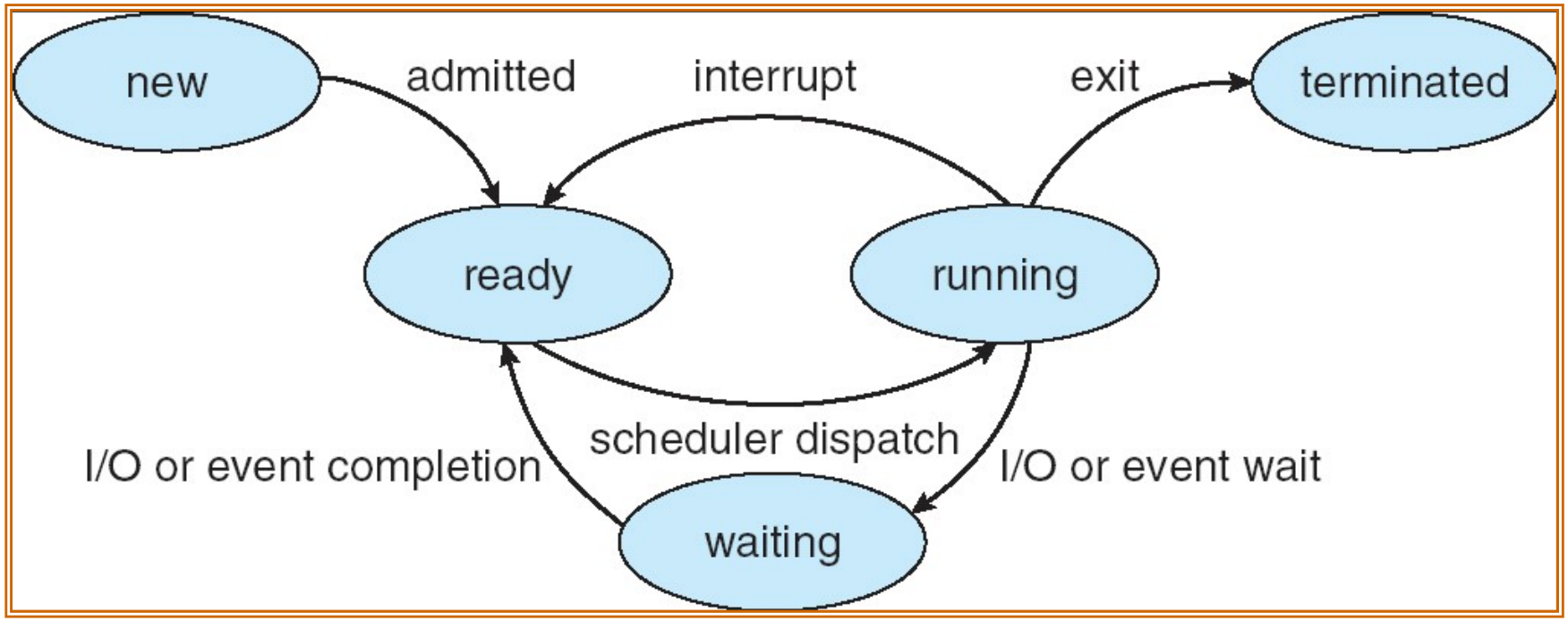
PCB

Commutazione della CPU tra processi



- E' denominata *context switch* (cambio di contesto)
- Il codice eseguito dal kernel è *overhead* e limita la frequenza massima di commutazione

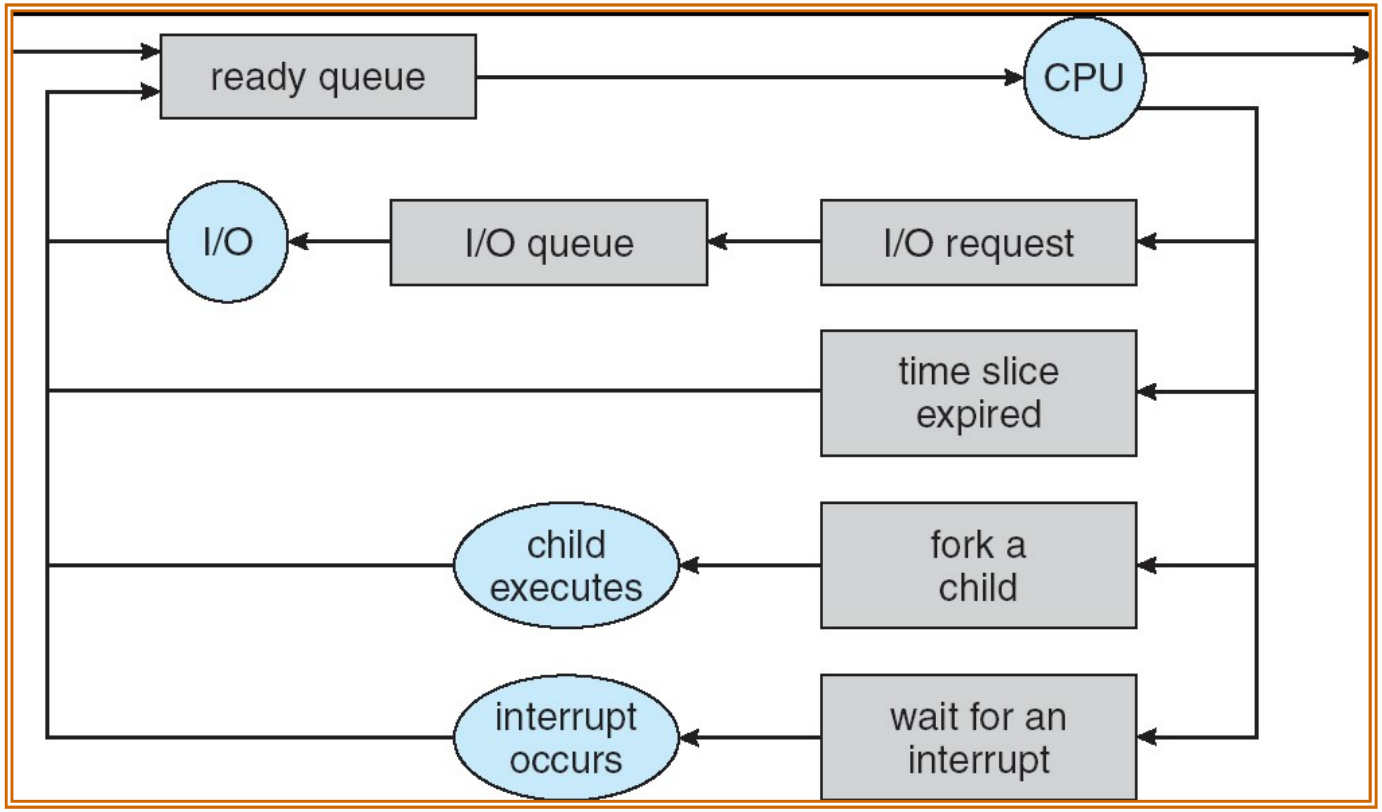
Il quadro generale: un sistema con *processi e thread*



New: in corso di creazione
Ready: in attesa di eseguire
Running: in esecuzione
Waiting: in attesa di qualche evento
Terminated: completati, liberano le risorse

- Quali entità popolano gli stati di questo diagramma?
- Cosa accade quando cambiano di stato?

Scheduling dei processi

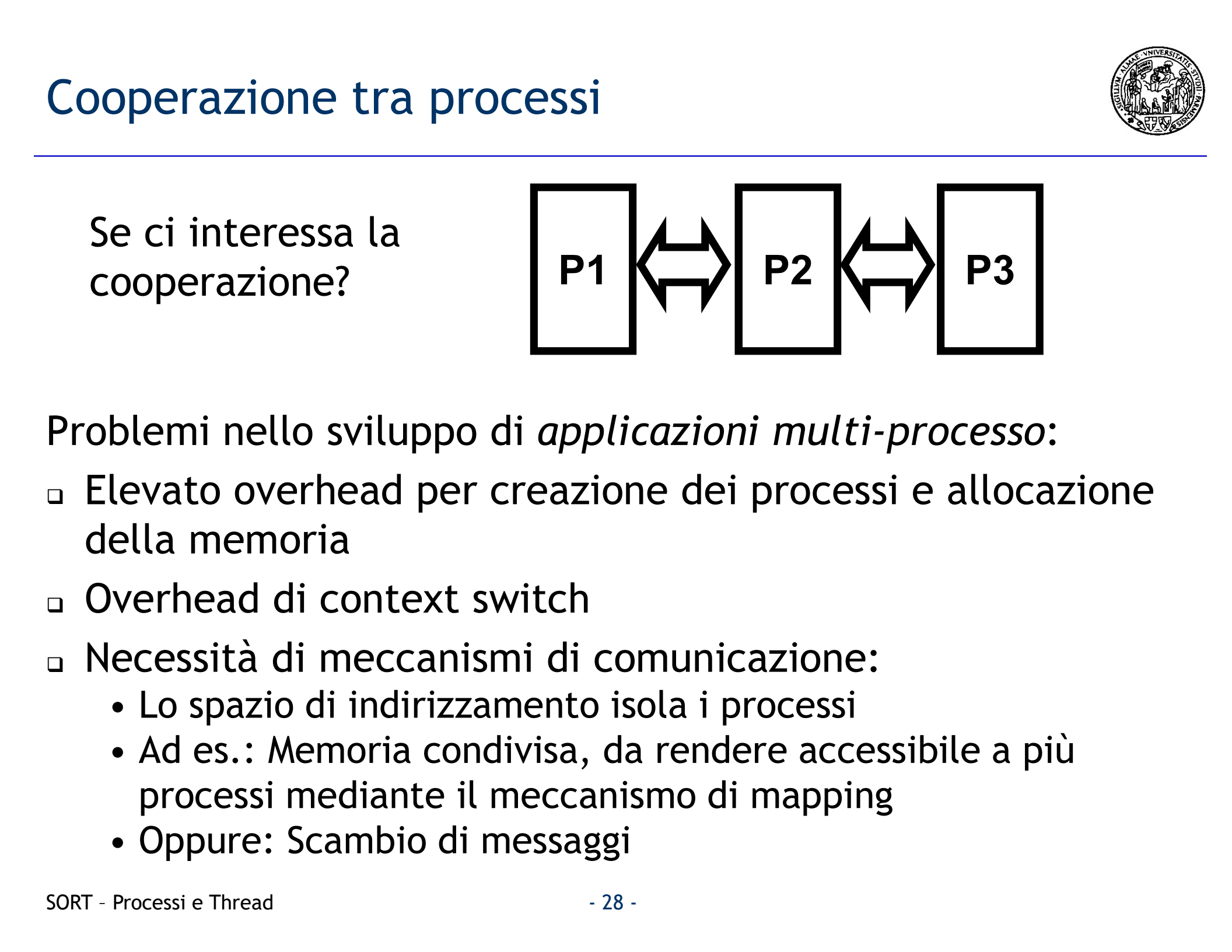


- I descrittori sono trasferiti da una coda all'altra quando i processi *cambiano stato*
- Decisione di *Scheduling*: decisione sull'ordine di estrazione di un processo da una coda (-> vari algoritmi)

Per la creazione di un processo

- Il SO deve fornire un nuovo PCB
  - Poco costoso
- Il SO deve predisporre una nuova tabella delle pagine per lo spazio di indirizzamento
  - Più costoso
- Copia dei dati dal processo padre? (`fork()` in Unix)
  - La semantica della fork() Unix prevede che il processo figlio riceva una copia completa della memoria e dello stato di I/O del padre
  - In origine *molto* costoso
  - Meno costoso utilizzando “copy on write”
- Copia dello stato di I/O (file handles, etc)
  - Costo intermedio

Cooperazione tra processi



Se ci interessa la cooperazione?

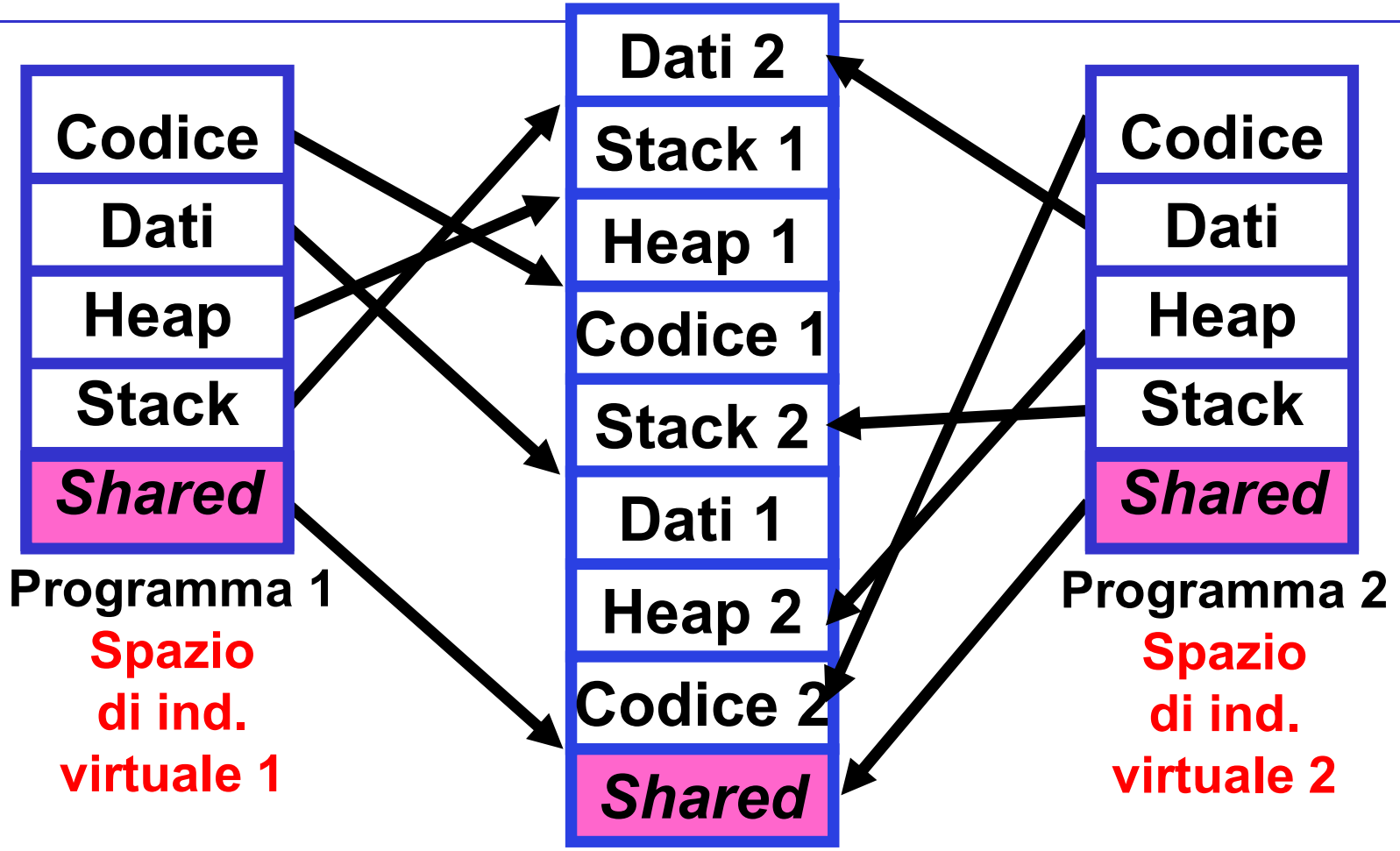
Problemi nello sviluppo di *applicazioni multi-processo*:

- Elevato overhead per creazione dei processi e allocazione della memoria
- Overhead di context switch
- Necessità di meccanismi di comunicazione:
  - Lo spazio di indirizzamento isola i processi
  - Ad es.: Memoria condivisa, da rendere accessibile a più processi mediante il meccanismo di mapping
  - Oppure: Scambio di messaggi

Comunicazione interprocesso

- Gli spazi di indirizzamento separati *isolano* i processi
- Protezione ≠ isolamento ...
- Possibili meccanismi di comunicazione:
  - Mapping di memoria condivisa
    - Realizzato mappando indirizzi ad una porzione di DRAM comune
    - Lettura e scrittura attraverso la memoria
  - Message Passing
    - send() e receive() di messaggi
    - Funziona anche in sistemi distribuiti su rete

Comunicazione mediante memoria condivisa



- La comunicazione avviene leggendo e scrivendo ad una pagina il cui indirizzo è condiviso
  - overhead di comunicazione contenuto (dipende…)
  - problemi di sincronizzazione non banali

Comunicazione interprocesso (IPC)

- Meccanismi per comunicazione e sincronizzazione dei processi
- Sistema a scambio di messaggi: i processi comunicano tra loro senza utilizzare variabili condivise
- Il sistema IPC fornisce due operazioni base:

  send(*message*)

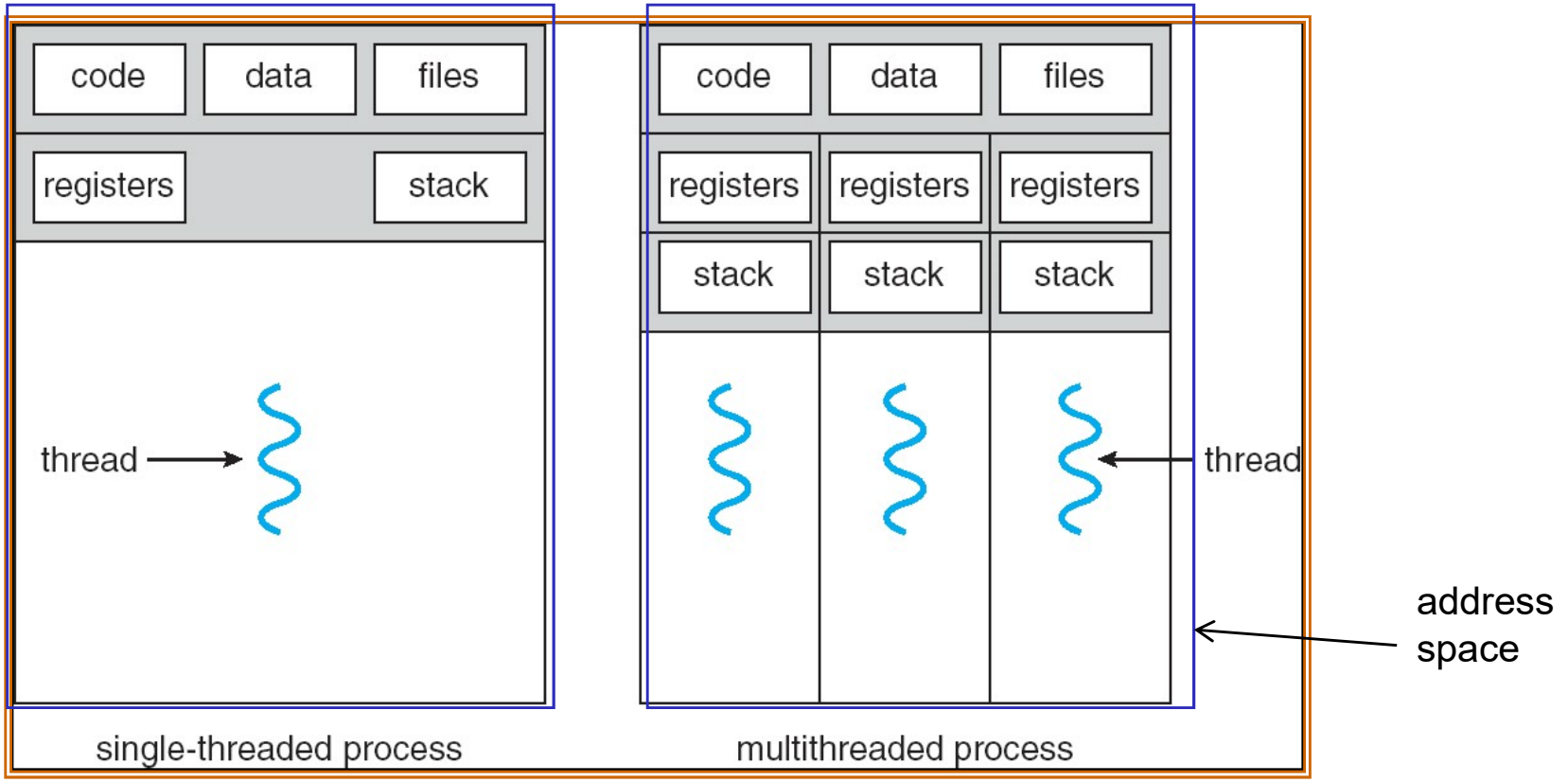
  receive(*message*)
- Due processi *P* e *Q* per comunicare devono:
  - stabilire tra loro un *canale di comunicazione*
  - scambiare messaggi mediante send/receive
- Realizzazione del canale di comunicazione
  - fisica (es., memoria condivisa, bus, trap)
  - logica (es., proprietà logiche)

Processi con struttura *a thread*

- Thread: *flusso di esecuzione sequenziale all'interno di un processo* (denominazione alternativa: "processo leggero")
  - Il processo è ancora caratterizzato da *un unico spazio di indirizzamento*
  - Nessuna protezione tra i thread del processo
- Multithreading: *un singolo programma costituito da più attività concorrenti* (anche: multitasking)

- Separazione del concetto di thread da quello di processo
  - La parte "thread" del processo ne esprime la concorrenza interna ed esterna
  - Lo spazio di indirizzamento esprime la protezione
  - Processo a grana grossa ≡ Processo con un solo thread (processo Unix tradizionale)

Processi con thread multipli



- Thread -> concorrenza, componente attiva
- Spazi di indirizzamento -> protezione, componente passiva
  - un programma malfunzionante non può bloccare l'intero sistema
- Perchè più thread in uno stesso spazio di indirizzamento?

Esempi di programmi multithreaded

- Sistemi embedded
  - Ascensori, aeroplani, apparecchiature medicali, robot autonomi
  - Un solo programma, operazioni concorrenti
- Nucleo nei SO moderni
  - Concorrenza interna perchè il SO deve gestire richieste concorrenti da parte di più utenti
  - Motivata anche dai processori moderni multicore
  - Nessuna protezione necessaria entro il kernel
- Server dei Database
  - Accesso a dati condivisi da parte di più utenti contemporanei
  - Elaborazioni interne e di sistema da eseguire in background

Altri esempi di programmi multithreaded

- Server di rete
  - Richieste concorrenti dalla rete
  - Un solo programma, più operazioni concorrenti
  - File server, Web server, sistemi di prenotazione online
- Programmazione parallela (CPU multiple)
  - Il programma è scomposto in thread per sfruttare il parallelismo
  - Parallelismo possibile a diverse scale: processori multicore, multicomputer, cluster NoW, sistemi distribuiti, etc.

Stato dei thread

- Tutti i thread di un processo condividono:
  - I contenuti della memoria (variabili globali, heap)
  - Stato di I/O (file system, connessioni di rete, etc)
- Stato “privato” di ogni thread
  - Mantenuto nel TCB - Thread Control Block
  - Registri della CPU (tra cui il Program Counter)
  - Stack di esecuzione
- Stack di esecuzione
  - Contiene parametri e variabili temporanee
  - Memorizza i valori salvati del PC mentre sono in esecuzione i sottoprogrammi
  - Consente chiamate ricorsive

Classificazione dei SO

- Possibilità: uno o più spazi di indirizzamento, uno o più thread per ogni spazio di indirizzamento

  - Un solo spazio di indirizzamento, un solo thread: MS-DOS, primi Macintosh
  - Un solo spazio di indirizzamento con più thread: VxWorks, sistemi embedded, JavaOS, primi sistemi operativi per palmari
  - Più spazi di indirizzamento, un solo thread per ogni spazio di indirizzamento: processo Unix tradizionale
  - Più spazi, più thread per spazio di indirizzamento: Linux, Windows XP, Solaris, Win 7-11, Android, iOS, etc. → i moderni SO general purpose

Why threads are a bad idea (for most purposes)

- http://www.stanford.edu/~ouster/cgi-bin/papers/threads.pdf
  - (presentazione di J. Ousterhout a USENIX, 1996)
  - Conclusions:
    - *Threads are fundamentally hard; avoid whenever possible*
    - …
- Ma (anche le idee) ...